УДК 552.5:551.76(571.51)

ЛИТОГЕНЕЗ ЮРСКО-МЕЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОСТОЧНОГО БОРТА БОЛЬШЕХЕТСКОЙ ВПАДИНЫ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗУЧЕНИЯ РАЗРЕЗА ТУКОЛАНДО-ВАДИНСКОЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ СКВАЖИНЫ-320)

Н.Ф. Столбова, О.В. Бетхер*, Ю.В. Киселев

Томский политехнический университет. E-mail: litolog@mail.ru
*Томский государственный университет

Рассмотрены особенности осадконакопления и последующих диагенетических, катагенетических и наложенных эпигенетических преобразований пород в разрезе. Представляется, что процессы наложенного эпигенеза, имели определяющее значение в образовании зон разуплотненных пород, перспективных для локализации залежей углеводородов.

Изучение литогенетических особенностей формирования осадочных толщ на основе детальных минералого-петрографических и литогеохимических исследований необходимо прежде всего для использования их в совершенствовании критериев прогноза нефтегазоносности. Туколандо-Вадинская параметрическая скважина-320 пробурена в зоне сопряжения Западно-Сибирской и Хатангско-Вилюйской нефтегазоносных провинций на восточном склоне Большехетской впадины для изучения перспектив нефтегазоносности Пур-Тазовской нефтегазоносной области Западно-Сибирской плиты.

Исследования разреза отложений, вскрытых скважиной, выполнены в петролого-геохимической лаборатории Института геологии и нефтегазового дела ТПУ. Детальные литологические и минералого-петрографические исследования разреза по образцам керна проведены в интервалах вскрытия нижнемеловых отложений яковлевской (K_1al_2-a, jak) – 1800...2215 м, малохетской (K_1h_1-mch) – 2215...2589 м, суходудинской (K_1v-h, sd) – 2589...3374 м и нижнехетской (K_1b-v_1, nch) – 3374...3737 м свит, яновстанской свиты нижнемелового-верхнеюрского возраста (J_3km_2-K_1b, ian) – 3737...4135 м, а также отложений сиговской свиты (J_3o_1-km_1, sg) – 4135...4287 м верхнеюрского и малышевской (J_2bt-k_1, ml) – 4376...4521 м свиты среднеюрского возраста. Исследования базировались на развиваемом в последние годы флюидодинамическом подходе к нефтегазоносности самоорганизующихся осадочных бассейнов [1].

Юрско-меловая толща в районе бурения скважины представлена морскими, лагунными и континентальными осадками: чередованием глинистых и обломочных пород с разнообразными переходными разновидностями – от песчаников к алевролитам и аргиллитам, нередко содержащих прослои углей. В процессе становления отложения разреза претерпели значительные преобразования: седиментационно-диагенетические, ката- и метагенетические – при накоплении осадков и эволюции их в процессе погружения осадочного бассейна, а также наложенные эпигенетические [2], сопровождающие процессы флюидомиграции и формирования нефтегазовых объектов в период инверсионного развития территории. Разделить минеральные ассоциации стадиального и наложенного эпигенеза часто достаточно сложно из-за конвергентности признаков того и другого явлений.

Ниже рассматриваются особенности седиментогенеза и постседиментационных преобразований пород по свитам разреза.

Малышевская свита. В изученном интервале отложений преобладают мелко-среднезернистые, разнозернистые песчаники (полевошпатово-кварцевые граувакки), нередко с прослоями алевролитов и алевропесчаников. Структурно-текстурные особенности пород свидетельствуют об их катагенетическом уплотнении, гравитационной коррозии, выразившейся в конформно-регенерационных сочленениях зерен, инкорпорации, а также регенерации кварца и, в меньшей степени, полевых шпатов. Отмечается серицитизация полевых шпатов, хлоритизация биотита.

Процессы наложенного эпигенеза проявились в карбонатизации пород – образовании кальцита, сидерита и доломита. Карбонаты корродируют аллотигенные зерна, заполняют сформировавшееся пустотное пространство.

В отдельных интервалах свиты породы раздроблены и катаклазированы. В катаклазированных песчаниках часто развита вторичная пористость. Преобладают поры неправильной формы, иногда крупные по размерам, переходящие в каверны.

Признаки миграции битумоидов проявляются в виде прожилков с углеводородами (УВ), выполненных хлоритоподобным минералом.

Сиговская свита. Породы свиты представлены преимущественно песчаными разновидностями (граувакковые аркозы, полевошпато-кварцевые граувакки, редко мезомиктовые) с прослоями алевролитов и аргиллитов. Для песчаников характерно диагенетическое и катагенетическое уплотнение, пиритизация, карбонатизация и сидеритизация. Идиоморфные ромбовидные кристаллы доломита, обнаруживаемые в поровом пространстве песчаников, замещают карбонатный цемент, а сидеритовые выделения, трассируют трещинки в терригенных зернах. Образование доломита, по-видимому, обусловлено процессами углекислотного метасоматоза.

Яновстанская свита. Отложения свиты согласно залегают на нижележащих отложениях и сложе-

ны преимущественно тонкозернистыми разновидностями обломочных и глинистых пород с ритмичными тонкослоистыми текстурами. Изредка они сменяются более или менее однородными алевропсаммитовыми прослоями. Песчаники имеют преимущественно аркозовый или мезомиктовый состав. Вверх по разрезу постепенно снижается роль песчаных разновидностей пород.

В отложениях нижних горизонтов свиты в алевроаргиллитах постоянно обнаруживаются новообразования пирита: в виде псевдоморфоз по скелетным остаткам фораминифер и радиолярий, в виде форм выполнения ходов илоедов, а также микроконкреций. Формирование пирита обусловлено восстановительными условиями среды минералообразования, вероятно, еще на ранней стадии диагенеза.

Все это указывает на формирование пород этой части разреза в спокойной застойной обстановке морского бассейна, нарушаемой иногда увеличением гидродинамической активности среды.

Тонкозернистые разновидности пород сопровождаются гелефицированным органическим веществом, керогеном типа II и битумоидами. Породы биотитизированы и гидрослюдизированы. Здесь же под воздействием мигрирующих растворов произошло интенсивное замещение серицитом полевых шпатов и обломков пород, а также их карбонатизация.

Карбонатизацией охвачены в основном песчано-алевритовые разновидности пород. Для нижних горизонтов свиты характерно образование базального, пойкилитового и коррозионного типов цементации. Выше по разрезу в песчаниках развита поровая карбонатизация. Среди карбонатизированных пород встречаются секущие выклинивающиеся прожилки, выполненные желтыми битумоидами (рис. 1).

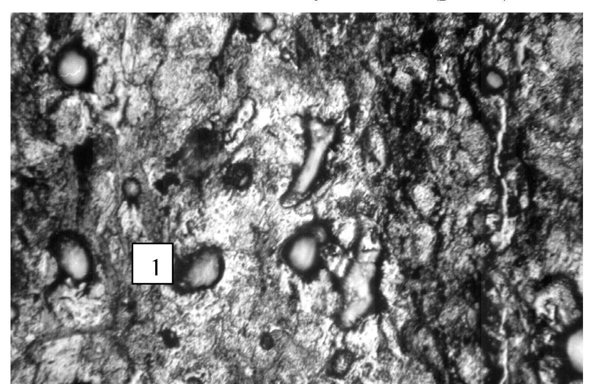


Рис. 1. *Прожилки битумоидов (1) в пористых алевролитах (гл. 4007,2 м). Прозрачный шлиф. Без анализатора. Николи ||. Увел. 60*

Нижнехетская свита. Отложения свиты представлены переслаиванием обломочных и глинистых пород. Песчаники представлены аркозами, реже полевошпато-кварцевыми граувакками и мезомиктовыми разновидностями. Исходя из особенностей гранулометрического состава, алевро-песчаные прослои формировались в гидродинамически активных фациальных обстановках. Степень сортированности терригенного материала песчаников различна. Текстуры слабо ориентированные, неоднородные. В породах присутствует пирит, указывающий на восстановительные условия, реже – глауконит, свидетельствующий о слабо восстановительной геохимической среде диагенеза. Катагенетические преобразования выразились в уплотнении пород.

Наложенные эпигенетические преобразования проявились в карбонатизации, гидрослюдизации, биотитизации катагенетически преобразованных пород, а также формировании новообразованных пор.

В ряде случаев, в ассоциации с прожилковыми битумоидами наблюдаются линзовидные выделения гелефицированного органического вещества и пирита, а также послойная гидрослюдизация и биотитизация пород. Карбонатизация чаще "трассирует" субвертикальные пути миграции флюидов и битумоидов, проявления которых неоднократно фиксируются в разрезе. При этом кальцит выполняет поры и тонкие межзерновые каналы. На участках, где наблюдается масштабная карбонатизация с образованием базального цемента, количество пор резко сокращается и порода становится практически непроницаемой.

Суходудинская свита. Отложения свиты представлены большей частью мелко-тонкозернистыми песчаниками (граувакковые аркозы, собственно аркозы) и алевролитами с прослоями углей и углистыми аргиллитами в верхней части разреза. Здесь доминируют косослоистые текстуры с признаками взмучивания. Оценка статистических параметров распределения гранулометрических показателей свидетельствуют об однородности гранулометрического состава терригенного материала, а низкие значения параметров асимметрии ($A< 1,0$) и эксцесса ($E<1,0$) – о формировании отложений в среде с относительно вялыми гидродинамическими характеристиками, соответствующими мелководной прибрежной зоне. Для пород из зон переслаивания характерно повышение величин A и E, соответственно, до 2...2,8 и 4...14,2.

По данным гранулометрического анализа неравномернозернистые (или тонко-среднезернистые), а также относительно однородные песчаники со слабо выраженной ориентированной текстурой и коэффициентом сортированности $S_0<1,4$ следует рассматривать как отложения пляжей. В верхних горизонтах свиты степень сортированности улучшается ($S_0=1,48...1,66$). В песчаниках суходудинской свиты повышено содержание акцессорных минералов – турмалина, циркона, цоизита.

Постседиментационные диагенетические преобразования выразились в уплотнении осадков, глинизации пород, пиритизации, трансформации органического вещества в минеральную форму.

Катагенетические преобразования пород связаны с развитием конформных зерновых контактов, интенсивной регенерацией кварца и отчасти полевых шпатов, формированием "шиповидных" структур, а также с локальной перекристаллизацией каолинитового цемента (рис. 2).

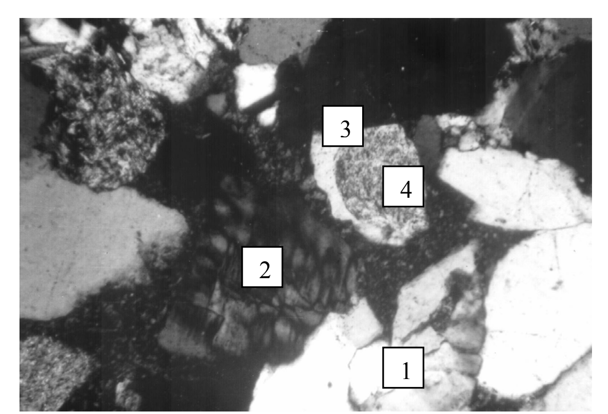


Рис. 2. *Песчаник неравномернозернистый, граувакковый аркоз (гл. 2608,4 м) с: 1) катаклазированными зернами полевых шпатов; 2) поровым каолинитовым цементом и 3) регенерацией серицитизированного калиевого полевого шпата (4). Прозрачный шлиф. С анализатором. Николи +. Увел. 60*

Наложенные эпигенетические преобразования пород проявились на фоне тектонических подвижек, способствующих формированию микротрещиноватости, дезинтеграции и дроблению обломков, появлению новообразованных пор. Повсеместно наблюдается биотитизация, гидрослюдизация и хлоритизация пород. Следует отметить, что часто имеет место чередование в разрезе участков развития кальцитового цемента и интенсивной регенерации кварца

Малохетская свита. Отложения свиты согласно залегают на породах суходудинской свиты и представлены переслаиванием обломочных и глинистых разновидностей пород – песчаников, алевролитов, аргиллитов и прослоев с их тонким переслаиванием. В разрезе свиты повсеместно встречаются остатки захороненного растительного детрита, иногда с видимым "клеточным" строением.

Песчаники мелкозернистые (реже средне-, тонкозернистые) имеют преимущественно граувакково-аркозовый состав и характеризуются средней или низкой сортировкой обломочного материала (S_0>1,49), слабой окатанностью зерен. О периодической смене вялотекущих процессов осадконакопления в слабо подвижных условиях водного бассейна обстановками с высокой гидродинамической активностью среды, свидетельствуют вариации статистических параметров – асимметрии и эксцесса и их повышение, соответственно, до 1,32 и 4,5.

Широкое распространение в разрезе тонкозернистых осадков указывает на перенос материала во взвешенном состоянии и его аккумуляцию на значительном удалении от источника сноса. Отложения, близкие к континентальным, фиксируются по укрупнению размерности зерен, появлению косослоистых текстур. Активизация гидродинамики среды, соответствующая формированию отложений пляжей, подтверждается увеличением статистических параметров распределения гранулометрических показателей – асимметрии и эксцесса, улучшением сортированности осадков.

Диагенетические преобразования пород выразились в глинизации полевых шпатов и локальной пиритизации пород.

В результате катагенетического преобразования пород свиты под влиянием давления, повышенной температуры, а также активизации минерализованных растворов на инверсионном этапе развития осадочного бассейна, произошли текстурно-структурные и минеральные изменения пород. Вследствие уплотнения и гравитационной коррозии появились конформные, инкорпорационные контакты зерен, а также проявления хрупких и пластических деформаций минеральных зерен, грануляция кварца, хлоритизация биотита, растворение полевых шпатов и замещение их глинистыми минералами с последующей трансформацией в поровый каолинитовый цемент. В ряде случаев отмечается перекристаллизация глинистого каолинитового материала, появление регенерированного и бластического кварца, особенно в нижней части разреза свиты.

Яковлевская свита. Отложения представлены переслаиванием песчаников, алевролитов и аргиллитов с прослоями песчано-алеврито-аргиллитового состава и углей с достаточно большим количеством захороненного фюзенизированного органического вещества с реликтовым сетчатым строением органической ткани.

Состав отложений, их угленосность, периодическое появление в разрезе свиты косой слоистости со следами взмучивания, указывают на регрессивно-трансгрессивный характер осадконакопления в прибрежно-морской зоне.

Песчаники имеют преимущественно граувакково-аркозовый состав, отличаются конформной упаковкой зерен с инкорпорационными внедрениями обломков друг в друга в результате гравитационной коррозии, несут признаки деформации, что свидетельствует о проявлении катагенетических процессов.

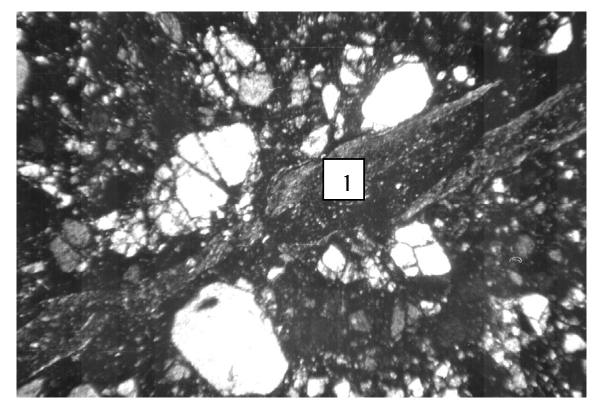


Рис. 3. *Катаклазированный песчаник с зоной (1) гидрослюдизации (гл. 2080 м). Прозрачный шлиф. Без анализатора. Николи +*

Характерной чертой строения большинства обломочных образований яковлевской свиты является проявление посткатагенетического катаклаза, глубоких эпигенетических преобразований пород и выщелачивания, особенно в средней части свиты

(рис. 3). Интенсивная миграция углекислых растворов вызвала не только глинизацию полевых шпатов и обломков пород, но и способствовала выносу глинистых продуктов, появлению "ноздреватых" пористых текстур. Как следствие, в этих интервалах образовалось вторичное пустотное пространство и значительно увеличилась пористость и проницаемость пород (рис. 4).

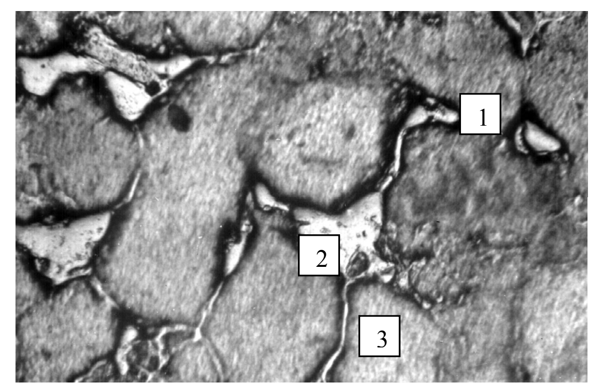


Рис. 4. *Порово-кавернозный тип пористости в песчаниках (гл. 2078,5 м): 1) поры, 2) каверны и 3) капиллярные каналы. Прозрачный шлиф. С анализатором. Николи ||*

В менее деформированных породах во вторичных порах обнаружены буровато-желтые пленки УВ. Зоны катаклаза в верхней и нижней частях свиты "запечатываются" карбонатизированными отложениями с кальцитовым базально-поровым коррозионным цементом.

В алевролитах и аргиллитах признаки деструкции фиксируются в виде секущих и послойных трещин, "трассируемых" гидрослюдами и углеводородами.

На примере выборки алеврито-песчаных пород суходудинской и малохетской свит (50 обр.) были изучены данные по гранулометрическому и вещественному составу, содержанию урана, величине U/Al_2O_3-отношения, $C_{орг}$ и карбонатизации с использованием кластерного, факторного и корреляционного анализов.

Кластерным анализом выявлено четыре обособленных таксона, соответствующих литогеохимически контрастным группам пород, выделяемым по литогеохимическим данным: уплотненным породам, нередко флюидоупорам, соответствующим интервалам положительных аномалий (I кластер), разуплотненным породам – чаще песчаным коллекторам, отвечающим интервалам отрицательных аномалий (кластеры II-III) и карбонатизированным (до 56 %) уплотненным породам интервалов положительных аномалий и редким маломощным интервалам отрицательных аномалий (кластер IV). Выделена также серия переходных разновидностей пород.

Оценка факторных нагрузок показала, что седиментогенный фактор, обусловленный обстановкой осадконакопления и определяющий структурно-текстурные особенности пород (размер терригенных обломков, степень их сортированности и т.д.), является одним из ведущих. С увеличением размера зерен снижается коэффициент сортированности, по-видимому, за счет заполнения порового пространства более тонкими фракциями. Зоны разуплотнения, выделяемые по литогеохимическим данным, чаще приурочены к более крупнозернистым песчаникам, где интенсивнее проявились наложенные эпигенетические преобразования. В этом же петротипе песчаников в большей степени развиты регенерационный кварцевый цемент и вторичная карбонатизация. Влияние глинизации на коллекторские свойства песчаников неоднозначно. Этот процесс, по-видимому, является многостадийным. На начальной стадии происходит замещение алюмосиликатов глинистыми продуктами – проницаемость и пористость при этом снижается. На последующих стадиях, связанных, например, с выносом компонентов, степень разуплотнения пород увеличивается, что и отражается в структуре четвертого фактора.

Таким образом, формирование отложений разреза происходило в условиях регрессивно-трансгрессивного характера осадконакопления – от прибрежных отложений, с признаками псевдоабиссальных отложений в условиях низкой гидродинамической активности в более глубоководных частях морского бассейна (малышевская-точинская-сиговская-яновстанская свиты, J_{2-3}), до прибрежно-морских с высокой гидродинамической активностью в обстановках мелководья и пляжей, когда в прибрежных болотах и лагунах периодически формировались отложения континентальные, представленные прослоями углей и растительным детритом (нижнехетская-суходудинская-малохетская-яковлевская свиты нижнего мела).

Диагенетические преобразования пород в разрезе выразились в уплотнении осадков, глинизации пород, трансформации органического вещества в минеральную форму, в формировании керогенов разных типов, в локальном развитии в разрезе новообразований сидерита, микроконкреций и псевдоморфоз пирита по скелетам фораминифер и радиолярий на ранних стадиях диагенеза (особенно в отложениях яновстанской-малохетской свит).

Катагенез осадков выразился в конформной упаковке зерен, инкорпорационном внедрении их друг в друга, появлении шиповидных структур, регенерации кварца, полевого шпата, гидрослюдизации пород, а также катагенетической преобразованности ОВ от протокатагенеза до начальных стадий апокатагенеза [3].

Миграция углеводородных флюидов нарушает физико-химическое равновесие систем, включающих минералы, кероген, битумоиды, воды, кислород. Это приводит к проявлению процессов наложенного эпигенеза, выражающихся в дислокационных и метасоматических преобразованиях окружающих пород [4]. Процессы наложенного эпигенеза, обусловленные миграцией окисляющих флюидов с УВ на этапе инверсионного развития территории, вызывают биотитизацию, хлоритизацию, гидрослюдизацию, серицитизацию, каолинитиза-

цию, пиритизацию и окварцевание пород. Щелочная флюидомиграция способствует широкому проявлению процессов карбонатизации: кальцитизации, сидеритизации и доломитизации.

Выводы

Установлено, что особенности строения изученного разреза обусловлены сложными процессами формирования осадочных пород – от осадкообразования до нефтегазонакопления.

Детальное изучение литологических, текстурно-структурных и вещественных особенностей пород позволило выделить фациальные обстановки формирования отложений разреза.

Процессы наложенного эпигенеза, проявившиеся на фоне стадиальных преобразований пород и обусловленные процессами углекислотного метасоматоза, сопровождающего миграцию и окисление битумоидов, имели определяющее значение в образовании зон разуплотненных и уплотненных пород.

Интервалы наиболее интенсивного проявления процессов наложенного эпигенеза в породах разреза соответствуют аномальным участкам (отрицательным аномалиям), выделенным по литогеохимическим данным и представляющим собой зоны разуплотненных пород, перспективных с позиции возможной локализации в них залежей УВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соколов Б.А., Абля Э.А. Флюидодинамическая модель нефтегазообразования. — М.: ГЕОС, 1999. — 76 с.
2. Лебедев Б.А. Геохимия эпигенетических процессов в осадочных бассейнах. — Л.: Недра, 1992. — 239 с.
3. Ларичев А.И., Рязанова Т.А., Меленевский В.Н. и др. Геохимическая характеристика юрско-мелового разреза восточного борта Большехетской впадины // Вестник Томского гос. ун-та. — 2003. — Прилож. № 3(11), апрель. — С. 300—302.
4. Столбова Н.Ф., Ненахов Ю.Я. Петрографические и минералогические особенности продуктивных отложений верхнеюрского возраста Вахского месторождения нефти // В кн.: Природокомплекс Томской области. — Т. 2. Геология и экология. — Томск: Изд-во ТГУ, 1995. — С. 67—73.

УДК 552.321+550.93+550.4